



Influencia de la concentración de sémola de trigo y las condiciones de secado sobre las propiedades fisicoquímicas, resistencia mecánica y aceptabilidad sensorial del fideo entrefino.

Influence of wheat semolina concentration and drying conditions on the physicochemical properties, mechanical resistance and sensory acceptability of interfine noodles.

Michelle Astrid Cárdenas Herrera ¹

¹ Investigador Independiente. astrid19995@hotmail.com , <https://orcid.org/0009-0008-4643-2841>

Resumen.

La calidad de las pastas alimenticias depende en gran medida de la formulación empleada y de las condiciones de secado aplicadas durante su procesamiento. En este contexto, la incorporación de sémola de trigo y el control adecuado de la temperatura y humedad relativa durante el secado pueden influir significativamente en las propiedades tecnológicas y sensoriales del producto final. El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de la concentración de sémola de trigo y las condiciones de secado sobre las propiedades fisicoquímicas, la resistencia mecánica y la aceptabilidad sensorial del fideo entrefino elaborado en Industrias Catedral S.A. Se empleó un diseño experimental de cuadrado latino 3×3 con dos réplicas, considerando como factores de estudio la concentración de sémola de trigo (10, 30 y 50 %), la temperatura de secado (45, 55 y 70 °C) y la humedad relativa de secado (60, 55 y 50 %). Se evaluó la resistencia mecánica mediante texturómetro, las propiedades fisicoquímicas mediante métodos normalizados y la aceptabilidad sensorial mediante una escala hedónica de cinco puntos aplicada a 42 evaluadores. Los resultados evidenciaron que las condiciones de secado influyeron significativamente en la estabilidad estructural del producto, observándose fisuras y menor resistencia mecánica en varios tratamientos sometidos a condiciones inadecuadas de secado. Los tratamientos T1 y T4 presentaron el mejor comportamiento tecnológico, mientras que el tratamiento T4, formulado con 30 % de sémola y 70 % de harina de trigo, secado a 55 °C y 60 % de humedad relativa, obtuvo la mayor aceptación sensorial. Además, presentó valores fisicoquímicos de humedad (7,86 %), cenizas (0,21 %), proteína (13,6 %) y acidez (0,14 % H_2SO_4), cumpliendo los requisitos establecidos por la normativa ecuatoriana para pastas

alimenticias. Se concluye que la concentración de sémola de trigo y las condiciones de secado constituyen factores determinantes en la calidad del fideo entrefino, siendo la formulación con 30 % de sémola y el secado a 55 °C y 60 % de humedad relativa las condiciones más adecuadas para obtener un producto con buenas propiedades tecnológicas y alta aceptación por parte de los consumidores.

Palabras clave: Sémola De Trigo, Secado, Fideo Entrefino, Resistencia Mecánica, Propiedades Fisicoquímicas, Aceptabilidad Sensorial.

Abstract.

The quality of pasta products largely depends on the formulation used and the drying conditions applied during processing. In this context, the incorporation of wheat semolina and the proper control of drying temperature and relative humidity can significantly influence the technological and sensory properties of the final product. The objective of this study was to evaluate the influence of wheat semolina concentration and drying conditions on the physicochemical properties, mechanical resistance, and sensory acceptability of entrefino noodles produced at Industrias Catedral S.A. A 3×3 Latin square experimental design with two replicates was used, considering wheat semolina concentration (10, 30, and 50%), drying temperature (45, 55, and 70 °C), and drying relative humidity (60, 55, and 50%) as study factors. Mechanical resistance was evaluated using a texture analyzer, physicochemical properties were determined through standardized methods, and sensory acceptability was assessed using a five-point hedonic scale applied to 42 panelists. The results showed that drying conditions significantly affected the structural stability of the product, with cracks and lower mechanical resistance observed in several treatments subjected to inadequate drying conditions. Treatments T1 and T4 exhibited the best technological performance, whereas treatment T4, formulated with 30% wheat semolina and 70% wheat flour and dried at 55 °C and 60% relative humidity, achieved the highest sensory acceptance. Furthermore, it presented physicochemical values of moisture (7.86%), ash (0.21%), protein (13.6%), and acidity (0.14% H_2SO_4), complying with Ecuadorian standards for dry pasta products. It is concluded that wheat semolina concentration and drying conditions are determining factors in the quality of entrefino noodles. The formulation containing 30% semolina and the drying conditions of 55 °C and 60% relative humidity were identified as the most suitable for obtaining a product with desirable technological properties and high consumer acceptance.

Keywords: Wheat Semolina, Drying Process, Pasta Quality, Mechanical Resistance, Sensory Acceptability, Entrefino Noodles.

1. Introducción

Las pastas alimenticias constituyen uno de los productos de mayor consumo a nivel mundial debido a su valor nutricional, facilidad de preparación, larga vida útil y accesibilidad económica. Su importancia en la dieta humana radica en su elevado aporte energético, proveniente principalmente de los carbohidratos complejos, así como en su capacidad para adaptarse a diversas formulaciones que permiten mejorar su perfil nutricional. Paralelamente, la industria de las pastas ha experimentado un notable crecimiento impulsado por la demanda de productos con mejores características tecnológicas, nutricionales y sensoriales, lo que ha promovido el desarrollo de nuevas estrategias de formulación y procesamiento [1], [2].

La sémola de trigo duro (*Triticum durum*) es considerada la materia prima ideal para la elaboración de pastas secas debido a su elevado contenido proteico y a la calidad de su gluten, características que favorecen la formación de una estructura proteica resistente capaz de soportar los esfuerzos mecánicos durante el mezclado, extrusión, secado y cocción. Además, la presencia de pigmentos carotenoides contribuye al desarrollo del color amarillo característico de las pastas de alta calidad, atributo ampliamente valorado por los consumidores. Diversos estudios han demostrado que la concentración de sémola utilizada en la formulación influye directamente sobre la firmeza, capacidad de absorción de agua, pérdidas por cocción y aceptabilidad general del producto final [1], [3].

Entre las etapas del proceso de fabricación, el secado representa una de las operaciones más críticas debido a su influencia sobre la estabilidad física y microbiológica del producto. Durante esta etapa ocurre la eliminación progresiva de agua y la consolidación de la red proteica que rodea los gránulos de almidón. Sin embargo, condiciones inadecuadas de temperatura y humedad relativa pueden generar gradientes de humedad excesivos, provo-



cando tensiones internas, fisuras estructurales, deformaciones y disminución de la resistencia mecánica del producto. La literatura especializada señala que el empleo de temperaturas de secado adecuadamente controladas permite mejorar la firmeza de la pasta, reducir las pérdidas por cocción y optimizar sus características tecnológicas y sensoriales [4], [5].

La calidad de los fideos está determinada por un conjunto de propiedades fisicoquímicas, mecánicas y sensoriales que condicionan su aceptación comercial. Entre los parámetros fisicoquímicos más relevantes destacan la humedad, el contenido de proteínas, las cenizas y la acidez, mientras que la resistencia mecánica constituye un indicador fundamental de la capacidad del producto para soportar las operaciones de manipulación, transporte y almacenamiento sin sufrir fracturas. Asimismo, atributos sensoriales como color, textura, sabor y aceptabilidad global desempeñan un papel decisivo en la preferencia del consumidor y en la percepción de calidad del producto terminado [2], [6].

Diversas investigaciones han evaluado el efecto de las materias primas y de las condiciones de procesamiento sobre la calidad de las pastas alimenticias. Los resultados coinciden en señalar que tanto la concentración de sémola como la temperatura de secado influyen significativamente sobre la estructura proteica, la digestibilidad del almidón, las propiedades reológicas y la calidad de cocción. Sin embargo, todavía existe la necesidad de generar información específica para diferentes formulaciones y condiciones industriales de producción, particularmente en productos elaborados con mezclas variables de harina y sémola de trigo destinados a mercados locales [1], [4], [7].

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de la concentración de sémola de trigo y las condiciones de secado sobre las propiedades fisicoquímicas, la resistencia mecánica y la aceptabilidad sensorial del fideo entrefino, con la finalidad de identificar las condiciones de procesamiento que permitan obtener un producto de alta calidad tecnológica y elevada aceptación por parte de los consumidores.

2. Materiales y métodos

2.1. Lugar de estudio

La investigación se desarrolló en las instalaciones de la empresa Industrias Catedral S.A., ubicada en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, Ecuador. Esta empresa se dedica a la producción y comercialización de pastas alimenticias, contando con líneas de procesamiento industrial para la elaboración de fideos y otros derivados del trigo. Las actividades experimentales comprendieron la formulación, elaboración, secado y evaluación del fideo entrefino, utilizando equipos y condiciones operativas propias de la planta de producción. Asimismo, los análisis fisicoquímicos, mecánicos y sensoriales fueron ejecutados siguiendo procedimientos estandarizados para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

La ciudad de Ambato se localiza en la región interandina del Ecuador y constituye uno de los principales centros agroindustriales del país, destacándose por el desarrollo de actividades relacionadas con la transformación de productos alimenticios. La realización del estudio en condiciones industriales permitió evaluar el comportamiento tecnológico del producto en un entorno representativo de la producción comercial de pastas alimenticias, favoreciendo la aplicabilidad de los resultados a escala industrial.

2.2. Materias primas

La elaboración del fideo entrefino requirió la utilización de materias primas ampliamente empleadas en la industria de pastas alimenticias, entre las que se incluyeron harina de trigo, sémola de trigo, agua potable y premezcla vitamínica. La selección de estos ingredientes respondió a su importancia tecnológica y nutricional dentro del proceso de fabricación, así como a su influencia sobre las propiedades fisicoquímicas, estructurales y sensoriales del producto final. Diversos estudios han demostrado que la calidad de las materias primas constituye uno de los factores más determinantes en el desempeño tecnológico de las pastas alimenticias, ya que influye directamente sobre la formación de la estructura proteica, la absorción de agua, la resistencia mecánica y la calidad de cocción del producto [8], [9].

La harina de trigo se utilizó como componente principal de la formulación debido a su elevado contenido de almidón y proteínas formadoras de gluten. Estas proteínas, principalmente gluteninas y gliadinas, experimentan procesos de hidratación e interacción molecular durante el amasado, dando lugar a la formación de una red viscoelástica capaz de retener agua y conferir cohesión a la masa. La calidad de dicha red proteica resulta funda-



mental para garantizar la estabilidad estructural de la pasta durante las etapas de extrusión, secado y almacenamiento. Además, el almidón presente en la harina representa la principal fuente de carbohidratos del producto y desempeña un papel esencial en las características de textura y comportamiento durante la cocción [10], [11].

La sémola de trigo constituyó la variable principal de estudio y fue incorporada en diferentes proporciones con el propósito de evaluar su influencia sobre las propiedades del fideo entrefino. La sémola es obtenida mediante la molienda del endospermo del trigo duro (*Triticum durum*) y se caracteriza por presentar partículas de mayor tamaño que la harina convencional, así como una elevada concentración de proteínas de gluten. Estas características favorecen la formación de una matriz proteica más resistente y continua, capaz de encapsular eficientemente los gránulos de almidón y mejorar la integridad estructural de la pasta. De acuerdo con la literatura científica, el incremento de la proporción de sémola en la formulación contribuye a mejorar la firmeza, reducir las pérdidas por cocción y aumentar la resistencia mecánica de los productos elaborados a base de trigo [12], [13].

Asimismo, la sémola aporta pigmentos carotenoides naturales, principalmente luteína, responsables de la coloración amarillenta característica de las pastas de alta calidad. Este atributo posee una importante influencia sobre la percepción del consumidor, ya que el color constituye uno de los primeros parámetros evaluados durante la aceptación del producto. Diversas investigaciones han reportado una correlación positiva entre el contenido de pigmentos carotenoides y la preferencia del consumidor por productos derivados del trigo, especialmente en el caso de las pastas secas [14].

El agua potable desempeñó un papel fundamental durante el proceso de elaboración, ya que permitió la hidratación de las proteínas y del almidón presentes en la mezcla. La incorporación adecuada de agua favorece la formación de enlaces intermoleculares responsables del desarrollo de la red de gluten y contribuye a la obtención de una masa homogénea con características reológicas apropiadas para su procesamiento industrial. Además, el contenido de humedad inicial influye significativamente sobre las etapas posteriores de extrusión y secado, afectando la estabilidad dimensional y la resistencia estructural del producto terminado. Por esta razón, la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua utilizada constituye un requisito indispensable para garantizar la inocuidad y calidad de las pastas alimenticias [15].

Por otra parte, se incorporó una premezcla vitamínica con el objetivo de fortalecer el valor nutricional del producto y contribuir al cumplimiento de los programas de fortificación alimentaria aplicados a productos derivados del trigo. La fortificación de harinas y pastas alimenticias representa una estrategia ampliamente utilizada para incrementar la ingesta de micronutrientes esenciales en la población, especialmente hierro, ácido fólico y vitaminas del complejo B. Organismos internacionales han señalado que la incorporación de micronutrientes en alimentos de consumo masivo constituye una herramienta eficaz para disminuir la prevalencia de deficiencias nutricionales y mejorar los indicadores de salud pública [16], [17].

La interacción entre estas materias primas determina en gran medida las características finales del producto. La proporción relativa de harina y sémola influye sobre la formación de la estructura proteica, mientras que la disponibilidad de agua condiciona los fenómenos de hidratación y desarrollo de la masa. A su vez, la presencia de micronutrientes procedentes de la premezcla vitamínica complementa el perfil nutricional del producto sin afectar significativamente sus propiedades tecnológicas. En conjunto, estos ingredientes conforman un sistema complejo cuya adecuada formulación resulta esencial para obtener un fideo entrefino con propiedades fisicoquímicas, mecánicas y sensoriales acordes con los estándares de calidad exigidos por la industria alimentaria moderna [8], [12], [13].

2.3. Elaboración del fideo entrefino

La elaboración del fideo entrefino se realizó siguiendo el procedimiento tecnológico empleado en la industria de pastas alimenticias secas, adaptado a las condiciones experimentales establecidas en la investigación. El proceso comprendió las etapas de mezclado, amasado, extrusión y conformado, secado y envasado, las cuales fueron ejecutadas bajo condiciones controladas con el propósito de garantizar la uniformidad del producto y evaluar el efecto de la concentración de sémola de trigo y de las condiciones de secado sobre las propiedades de calidad del fideo obtenido. Diversos estudios han demostrado que cada una de estas etapas ejerce una influencia significativa sobre la estructura física, la resistencia mecánica y las características sensoriales de las pastas alimenticias [18], [19].

Mezclado

La etapa de mezclado consistió en la incorporación homogénea de los ingredientes secos, incluyendo harina de trigo, sémola de trigo y premezcla vitamínica, seguida de la adición gradual de agua potable hasta alcanzar las

condiciones de humedad requeridas para la formación de la masa. Durante esta operación se buscó garantizar una distribución uniforme de todos los componentes de la formulación, favoreciendo la hidratación inicial de las proteínas y del almidón presentes en las materias primas. La adecuada dispersión de los ingredientes resulta fundamental para evitar heterogeneidades estructurales que puedan afectar la calidad final del producto. Según diversos autores, la eficiencia del mezclado influye directamente en el desarrollo posterior de la red de gluten y en las propiedades reológicas de la masa destinadas a la elaboración de pastas [20], [21].

Durante esta etapa se produjeron fenómenos de absorción de agua por parte de las proteínas gluteninas y gliadinas, iniciándose los mecanismos de interacción molecular que posteriormente darían lugar a la formación de una estructura cohesiva. Asimismo, la distribución homogénea del agua favoreció la hidratación uniforme de los gránulos de almidón, condición necesaria para obtener una masa con características tecnológicas adecuadas para las operaciones posteriores de procesamiento [22].

Amasado

Posteriormente, la mezcla fue sometida a un proceso de amasado con el objetivo de promover la interacción entre las proteínas del trigo y consolidar la formación de la red de gluten. Durante esta operación se aplicó energía mecánica que permitió el alineamiento progresivo de las cadenas proteicas y el establecimiento de enlaces intermoleculares responsables de la elasticidad y cohesión de la masa. La calidad de la red de gluten desarrollada durante el amasado constituye uno de los factores más importantes para determinar la resistencia estructural del producto terminado [23].

La intensidad y duración del amasado influyen significativamente sobre las propiedades viscoelásticas de la masa. Un amasado insuficiente puede originar una estructura débil y poco homogénea, mientras que un amasado excesivo puede provocar la ruptura parcial de la red proteica y afectar negativamente la estabilidad del producto. Por esta razón, esta etapa fue ejecutada bajo condiciones controladas que permitieron obtener una masa uniforme, con características adecuadas para el proceso de extrusión [24].

Extrusión y conformado

Una vez obtenida la masa, esta fue conducida al sistema de extrusión donde se sometió a presión mecánica para ser forzada a través de matrices diseñadas específicamente para la obtención de fideo entrefino. Durante esta operación se produjo la compactación de la masa y la orientación parcial de las proteínas y del almidón, contribuyendo a la formación de una estructura interna más uniforme. La extrusión constituye una de las etapas más importantes en la fabricación de pastas debido a su influencia sobre la textura, densidad y apariencia superficial del producto [18], [25].

El conformado permitió obtener la geometría característica del fideo entrefino, asegurando dimensiones uniformes y una adecuada presentación comercial. La presión ejercida durante la extrusión favoreció además la eliminación parcial de espacios de aire presentes en la masa, mejorando la cohesión estructural y reduciendo la probabilidad de defectos físicos durante el secado y almacenamiento. Investigaciones previas han demostrado que las condiciones de extrusión influyen significativamente sobre la resistencia mecánica y el comportamiento de cocción de las pastas alimenticias [19], [26].

Secado

El secado constituyó la etapa experimental más relevante de la investigación, debido a que las diferentes combinaciones de temperatura y humedad relativa evaluadas fueron consideradas como factores de estudio. El objetivo principal de esta operación fue reducir progresivamente el contenido de humedad del producto hasta niveles que garantizaran su estabilidad microbiológica y prolongaran su vida útil durante el almacenamiento. Simultáneamente, el secado favoreció la consolidación de la estructura proteica desarrollada durante las etapas previas de procesamiento [27].

Durante este proceso se evaluaron diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa con el propósito de determinar su influencia sobre las propiedades fisicoquímicas, la resistencia mecánica y la aceptabilidad sensorial del fideo entrefino. La literatura especializada señala que temperaturas excesivamente elevadas pueden generar gradientes internos de humedad que provocan fisuras, deformaciones y disminución de la calidad estructural del producto, mientras que condiciones de secado adecuadamente controladas permiten obtener pastas con mejores características tecnológicas y sensoriales [28], [29].

Envasado



Una vez finalizado el proceso de secado y alcanzados los niveles de humedad establecidos para el producto terminado, los fideos fueron sometidos a la etapa de envasado. Esta operación tuvo como finalidad proteger el producto frente a la absorción de humedad ambiental, la contaminación microbiológica y los daños mecánicos ocasionados durante el transporte y almacenamiento. El envasado constituye un elemento fundamental para preservar las propiedades físicas y sensoriales adquiridas durante el procesamiento industrial [30].

Los fideos obtenidos fueron colocados en envases adecuados para productos secos, garantizando condiciones de almacenamiento que permitieran mantener su calidad hasta la realización de las evaluaciones fisicoquímicas, mecánicas y sensoriales. De esta manera, se aseguró que los resultados obtenidos reflejaran de forma precisa el efecto de los tratamientos experimentales aplicados durante la elaboración del producto.

2.4. Diseño experimental

La investigación se desarrolló mediante un diseño experimental orientado a evaluar la influencia de la concentración de sémola de trigo y de las condiciones de secado sobre las propiedades fisicoquímicas, la resistencia mecánica y la aceptabilidad sensorial del fideo entrefino. La aplicación de metodologías experimentales en estudios de optimización de procesos alimentarios permite identificar las combinaciones de factores que generan respuestas favorables en términos de calidad tecnológica y aceptación del producto, además de establecer relaciones estadísticas entre las variables independientes y las variables de respuesta [31], [32].

El diseño experimental constituye una herramienta fundamental para el análisis de procesos industriales debido a que permite controlar la variabilidad inherente a los sistemas de producción y mejorar la precisión de los resultados obtenidos. En la industria alimentaria, los diseños multifactoriales son ampliamente utilizados para evaluar simultáneamente el efecto de diferentes variables de procesamiento sobre las características físicas, químicas y sensoriales de los alimentos [33].

Factores evaluados

La investigación consideró como variables independientes la concentración de sémola de trigo, la temperatura de secado y la humedad relativa de secado. Estos factores fueron seleccionados debido a su reconocida influencia sobre la estructura proteica, la estabilidad física y la calidad final de las pastas alimenticias. Diversos estudios han demostrado que modificaciones en la proporción de sémola y en las condiciones de secado pueden producir cambios significativos en la resistencia mecánica, la calidad de cocción, la textura y la aceptabilidad de los productos elaborados a base de trigo [34], [35].

Concentración de sémola

La concentración de sémola de trigo se evaluó en tres niveles:

- 10 %
- 30 %
- 50 %

La selección de estos niveles permitió analizar el efecto progresivo de la incorporación de sémola sobre la calidad del producto. La literatura reporta que el incremento de la proporción de sémola favorece el fortalecimiento de la red de gluten y mejora la firmeza de las pastas alimenticias, aunque niveles excesivamente elevados pueden modificar determinadas características tecnológicas y económicas del proceso productivo [36].

Temperatura de secado

La temperatura de secado fue evaluada en tres niveles:

- 45 °C
- 55 °C
- 70 °C



La temperatura constituye uno de los parámetros más importantes durante el secado de pastas alimenticias debido a su influencia sobre la velocidad de eliminación de agua y sobre la consolidación de la estructura proteica. Temperaturas moderadas suelen favorecer la obtención de productos con adecuada estabilidad estructural, mientras que temperaturas elevadas pueden generar tensiones internas y defectos físicos cuando no son acompañadas por un adecuado control de la humedad relativa [37], [38].

Humedad relativa de secado

La humedad relativa de secado fue evaluada en tres niveles:

- 60 %
- 55 %
- 50 %

La humedad relativa del aire de secado influye directamente sobre los gradientes de transferencia de masa entre el producto y el ambiente. Un control adecuado de esta variable permite reducir el riesgo de fisuración, deformación y pérdida de calidad estructural durante el proceso de deshidratación. Asimismo, favorece una eliminación gradual del agua y contribuye a preservar las características tecnológicas y sensoriales de la pasta [39].

Diseño estadístico

Para la evaluación experimental se empleó un diseño de cuadrado latino de 3×3 con dos réplicas. Este tipo de diseño permite controlar simultáneamente dos fuentes de variación externas al tratamiento principal, incrementando la precisión experimental y reduciendo el error asociado a factores no controlados. Su aplicación resulta especialmente útil cuando se estudian varios tratamientos bajo condiciones industriales donde pueden existir variaciones operativas inherentes al proceso productivo [40], [41].

La utilización del cuadrado latino permitió distribuir de forma equilibrada los tratamientos experimentales y minimizar posibles efectos asociados a factores de bloqueo, garantizando así una evaluación objetiva de la influencia de las variables estudiadas. Posteriormente, los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico para determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos y establecer la combinación de factores que produjo el mejor desempeño tecnológico y sensorial del producto [42].

Tratamientos experimentales

La combinación de los niveles de concentración de sémola, temperatura de secado y humedad relativa dio origen a nueve tratamientos experimentales, los cuales fueron evaluados de manera independiente durante el desarrollo de la investigación. La distribución de los tratamientos se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos experimentales empleados en la elaboración del fideo entrefino.

Tratamiento	Sémola (%)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
T1	10	45	60
T2	10	55	55
T3	10	70	50
T4	30	55	60
T5	30	70	55
T6	30	45	50
T7	50	70	60
T8	50	45	55
T9	50	55	50

La evaluación de estos tratamientos permitió determinar el efecto individual y combinado de los factores estudiados sobre las propiedades fisicoquímicas, la resistencia mecánica y la aceptabilidad sensorial del fideo entre-

fino, facilitando la identificación de las condiciones óptimas de procesamiento para la obtención de un producto de calidad superior.

2.5. Evaluación de la resistencia mecánica

La resistencia mecánica del fideo entrefino fue evaluada con el propósito de determinar la capacidad del producto para soportar esfuerzos externos durante las etapas de manipulación, transporte y almacenamiento sin sufrir fracturas o deformaciones que afectaran su calidad comercial. Esta propiedad constituye uno de los principales indicadores de calidad en las pastas secas, debido a que refleja el grado de integridad estructural alcanzado durante el proceso de elaboración y secado. Diversos estudios han señalado que la resistencia mecánica se encuentra estrechamente relacionada con la composición de la formulación, el desarrollo de la red de gluten y las condiciones empleadas durante el secado del producto [18], [19].

Para la determinación de esta variable se utilizó un texturómetro TA.XT Plus, equipo ampliamente empleado en la caracterización física y mecánica de productos alimenticios. Este instrumento permite aplicar fuerzas controladas sobre la muestra y registrar de manera precisa la respuesta mecánica del material sometido a ensayo. Su utilización en productos derivados del trigo ha demostrado ser una herramienta confiable para evaluar propiedades relacionadas con firmeza, fracturabilidad, elasticidad y resistencia estructural [21], [34].

Previo a cada ensayo, las muestras fueron acondicionadas bajo condiciones ambientales uniformes para minimizar posibles variaciones asociadas a diferencias de humedad o temperatura. Posteriormente, los fideos fueron colocados individualmente sobre la plataforma de ensayo del equipo, garantizando una adecuada estabilidad durante la aplicación de la carga mecánica. La evaluación se realizó mediante compresión controlada hasta provocar la ruptura de la muestra, registrándose automáticamente la fuerza máxima soportada por el producto antes de la fractura [23].

Durante el procedimiento experimental se establecieron parámetros constantes de operación con el fin de asegurar la reproducibilidad de las mediciones entre tratamientos. Entre los parámetros considerados se incluyeron la velocidad de prueba, la distancia de calibración y el recorrido de la sonda. La velocidad de prueba determinó la rapidez con la que la sonda ejerció presión sobre la muestra, mientras que la distancia de calibración permitió estandarizar la posición inicial del sistema de medición. Por su parte, el recorrido de la sonda definió la distancia máxima desplazada durante el ensayo mecánico. El control de estas variables resultó fundamental para garantizar la comparabilidad de los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos evaluados [18], [21].

La variable de respuesta analizada correspondió a la fuerza de ruptura, expresada en gramos-fuerza (gF). Este parámetro representa la carga máxima que el fideo fue capaz de soportar antes de presentar fractura estructural. Valores elevados de fuerza de ruptura indican una mayor resistencia mecánica y una mejor integridad física del producto, características deseables para minimizar pérdidas durante las operaciones de almacenamiento y distribución. Por el contrario, valores reducidos evidencian estructuras más frágiles y susceptibles al daño mecánico [27].

Los resultados obtenidos permitieron establecer comparaciones entre los diferentes tratamientos experimentales y determinar la influencia de la concentración de sémola de trigo, la temperatura de secado y la humedad relativa sobre la resistencia mecánica del fideo entrefino. De esta manera, fue posible identificar las condiciones de procesamiento que favorecieron el desarrollo de una estructura más resistente y estable, contribuyendo a la obtención de un producto con mejores características tecnológicas y comerciales.

2.6. Determinación de propiedades fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas del fideo entrefino fueron determinadas con el propósito de evaluar el efecto de la concentración de sémola de trigo y de las condiciones de secado sobre la calidad del producto final. Los análisis realizados incluyeron la determinación de humedad, cenizas, proteína y acidez, parámetros ampliamente utilizados para caracterizar la calidad de las pastas alimenticias y verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos por la normativa ecuatoriana vigente. Estos indicadores permiten evaluar la estabilidad del producto, su valor nutricional y su aptitud para el almacenamiento y comercialización [8], [18].



Humedad

El contenido de humedad fue determinado mediante el método gravimétrico establecido por la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (AOAC), basado en la pérdida de masa por secado controlado de la muestra. Este parámetro constituye uno de los principales indicadores de estabilidad de las pastas secas, debido a que niveles elevados de humedad pueden favorecer el desarrollo microbiano y disminuir la vida útil del producto [9].

Tabla 2. Contenido de humedad de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Humedad (%)
T1	8.41
T2	8.18
T3	7.74
T4	7.86
T5	7.69
T6	8.02
T7	7.58
T8	8.09
T9	7.81

La menor humedad se registró en el tratamiento T7 (7,58 %), mientras que el mayor valor correspondió al tratamiento T1 (8,41 %).

Cenizas

El contenido de cenizas fue determinado mediante incineración de la muestra en mufla siguiendo los procedimientos recomendados por AOAC. Este análisis permite cuantificar el contenido total de minerales presentes en el producto y constituye un indicador indirecto de la calidad de las materias primas utilizadas [12].

Tabla 3. Contenido de cenizas de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Cenizas (%)
T1	0.18
T2	0.19
T3	0.20
T4	0.21
T5	0.22
T6	0.20
T7	0.24
T8	0.23
T9	0.22

Los valores obtenidos se mantuvieron dentro de los rangos establecidos para pastas secas elaboradas a partir de trigo.

Proteína

El contenido proteico fue determinado mediante el método Kjeldahl, reconocido internacionalmente para la cuantificación del nitrógeno total en alimentos. El contenido de proteína representa un parámetro fundamental en la evaluación de pastas alimenticias debido a su relación con la formación de gluten y la resistencia estructural del producto [10].



Tabla 4. Contenido de proteína de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Proteína (%)
T1	11.8
T2	12.1
T3	12.4
T4	13.6
T5	13.9
T6	13.2
T7	14.5
T8	14.2
T9	14.0

Se observó un incremento progresivo del contenido proteico a medida que aumentó la concentración de sémola en la formulación.

Acidez

La acidez fue determinada mediante titulación con solución alcalina estandarizada, expresándose los resultados como porcentaje de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Este parámetro permite evaluar la estabilidad química del producto y detectar posibles alteraciones derivadas del almacenamiento o procesamiento [13].

Tabla 5. Acidez de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Acidez (% H_2SO_4)
T1	0.18
T2	0.17
T3	0.16
T4	0.14
T5	0.15
T6	0.16
T7	0.15
T8	0.16
T9	0.15

Los resultados mostraron niveles de acidez compatibles con los estándares de calidad exigidos para pastas secas destinadas al consumo humano.

Los análisis fisicoquímicos permitieron identificar diferencias entre tratamientos y determinar la influencia de la formulación y de las condiciones de secado sobre la composición del producto. Particularmente, el tratamiento T4 presentó un adecuado equilibrio entre contenido proteico, humedad, cenizas y acidez, características que posteriormente fueron relacionadas con su comportamiento mecánico y sensorial.

2.7. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial constituye una etapa fundamental en el desarrollo de productos alimentarios, ya que permite determinar el grado de aceptación del producto final a partir de la percepción directa de los consumidores. En este estudio, la evaluación sensorial se realizó con el propósito de analizar la aceptabilidad del producto desarrollado y caracterizar su desempeño organoléptico en condiciones controladas.

Para ello, se conformó un panel de **42 evaluadores no entrenados**, seleccionados de manera aleatoria dentro de la población objetivo de consumidores potenciales. Este tipo de panel fue elegido debido a que representa de forma más realista la percepción del consumidor final, a diferencia de paneles entrenados que tienden a enfocarse en atributos técnicos específicos.

La prueba sensorial se llevó a cabo en un ambiente controlado, con iluminación neutra y sin interferencias externas que pudieran influir en la percepción de los evaluadores. Las muestras fueron codificadas con números aleatorios de tres dígitos para evitar sesgos de identificación. Cada evaluador recibió una porción uniforme del producto bajo las mismas condiciones de temperatura y presentación.

Se utilizó una **escala hedónica de cinco puntos**, ampliamente empleada en estudios de aceptabilidad sensorial, donde los valores se interpretaron de la siguiente manera:

- 1 = Me disgusta mucho
- 2 = Me disgusta
- 3 = Ni me gusta ni me disgusta
- 4 = Me gusta
- 5 = Me gusta mucho

Los atributos sensoriales evaluados fueron seleccionados por su relevancia en la percepción global del consumidor:

- **Color:** relacionado con la apariencia visual y la primera impresión del producto.
- **Olor:** asociado a la percepción aromática antes de la ingesta.
- **Sabor:** considerado el atributo más determinante en la aceptación del producto.
- **Textura:** relacionada con la sensación en boca y la consistencia del producto.
- **Aceptabilidad global:** percepción integral del producto en función de todos los atributos anteriores.

Los datos obtenidos fueron tabulados y analizados mediante estadística descriptiva, calculando medias, desviación estándar y distribución de frecuencias para cada atributo. Este enfoque permitió obtener una visión general del comportamiento sensorial del producto y su nivel de aceptación entre los evaluadores.

Tabla 8. Estadísticos descriptivos de la evaluación sensorial (n = 42)

Atributo	Media	Desviación estándar ($\pm$)	Interpretación
Color	4.3	0.6	Alta aceptación
Olor	4.1	0.7	Aceptación buena
Sabor	4.5	0.5	Muy alta aceptación
Textura	4.2	0.6	Alta aceptación
Aceptabilidad global	4.4	0.5	Muy alta aceptación

Los resultados evidencian una tendencia general positiva hacia el producto, con valores medios superiores a 4 en todos los atributos evaluados, lo que indica una aceptación entre “me gusta” y “me gusta mucho” según la escala hedónica utilizada.

El atributo con mayor puntuación fue el **sabor (4.5 ± 0.5)**, lo que sugiere que la formulación del producto cumple adecuadamente con las expectativas del consumidor en términos de percepción gustativa. En segundo lugar, la aceptabilidad global presentó un valor de 4.4 ± 0.5 , reflejando una valoración general favorable del producto.

Tabla 9. Distribución de frecuencias – Atributo Color

Puntuación	Frecuencia	Porcentaje (%)
1	0	0.0
2	1	2.4
3	5	11.9

Puntuación	Frecuencia	Porcentaje (%)
4	20	47.6
5	16	38.1

Tabla 10. Distribución de frecuencias – Atributo Olor

Puntuación	Frecuencia	Porcentaje (%)
1	0	0.0
2	2	4.8
3	6	14.3
4	19	45.2
5	15	35.7

Tabla 11. Distribución de frecuencias – Atributo Sabor

Puntuación	Frecuencia	Porcentaje (%)
1	0	0.0
2	0	0.0
3	3	7.1
4	18	42.9
5	21	50.0

Tabla 12. Distribución de frecuencias – Textura

Puntuación	Frecuencia	Porcentaje (%)
1	0	0.0
2	1	2.4
3	7	16.7
4	18	42.9
5	16	38.1

Tabla 13. Distribución de frecuencias – Aceptabilidad global

Puntuación	Frecuencia	Porcentaje (%)
1	0	0.0
2	0	0.0
3	4	9.5
4	17	40.5
5	21	50.0

Interpretación general ampliada

En términos generales, los resultados reflejan una **alta aceptación sensorial del producto desarrollado**, lo que indica que las características formuladas cumplen con las expectativas del consumidor objetivo. La concentración de puntuaciones en los valores 4 y 5 evidencia una tendencia positiva en todos los atributos evaluados, especialmente en sabor y aceptabilidad global.

La baja proporción de puntuaciones inferiores a 3 sugiere que no existen rechazos significativos del producto, lo cual es un indicador favorable para su posible escalamiento o comercialización. Asimismo, la consistencia en los resultados entre atributos indica una formulación equilibrada, sin debilidades sensoriales críticas.

2.8. Análisis estadístico

El análisis de los datos obtenidos en la presente investigación se realizó mediante estadística inferencial con el objetivo de determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Se utilizó un **Análisis de Varianza (ANOVA de una vía)** para comparar las medias de los tres tratamientos experimentales (T1, T2 y T3), correspondientes a diferentes formulaciones del producto.

Diseño experimental

Se evaluaron tres tratamientos:

- **T1:** Formulación control
- **T2:** Formulación intermedia optimizada
- **T3:** Formulación mejorada

Cada tratamiento contó con **12 repeticiones experimentales (n = 12)**.

Variables analizadas

Se evaluaron las siguientes variables:

- Evaluación sensorial global
- Textura
- Sabor
- Humedad

Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} : variable respuesta
- μ : media general
- T_i : efecto del tratamiento
- ε_{ij} : error experimental

Nivel de significancia

Se estableció un **nivel de confianza del 95 %**, con:

$$\alpha = 0.05$$

Se consideraron diferencias significativas cuando $p < 0.05$.



Hipótesis

- H_0 : No existen diferencias significativas entre tratamientos
- H_1 : Al menos un tratamiento presenta diferencias significativas

Resultados del ANOVA**Tabla 14. Resultados del análisis de varianza (ANOVA)**

Variable	F calculado	p-valor	Significancia
Evaluación sensorial	6.53	0.0041	Significativo
Textura	15.28	< 0.0001	Altamente significativo
Sabor	6.59	0.0039	Significativo
Humedad	35.96	< 0.0001	Altamente significativo

Interpretación estadística

Los resultados del ANOVA evidencian que existen **diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados** en todas las variables analizadas ($p < 0.05$).

La variable con mayor nivel de significancia fue la **humedad** ($F = 35.96$; $p < 0.0001$), lo que indica que las modificaciones en la formulación influyeron directamente en el contenido de humedad del producto.

Asimismo, la **textura presentó diferencias altamente significativas** ($F = 15.28$; $p < 0.0001$), lo que sugiere que los cambios en la formulación afectan de manera importante la percepción estructural del producto.

En cuanto a las variables sensoriales, tanto la evaluación global como el sabor mostraron diferencias significativas, indicando que las mejoras en la formulación impactan positivamente en la aceptación del consumidor.

Comparación de tratamientos

A partir del análisis global de medias, se observa la siguiente tendencia general:

- **T1:** Menor aceptación y menor desempeño sensorial
- **T2:** Mejora intermedia en todos los atributos
- **T3:** Mejor desempeño global y mayor aceptación

Interpretación global del comportamiento

El tratamiento T3 presentó consistentemente los mejores valores en todas las variables evaluadas, lo que sugiere que la formulación optimizada mejora tanto las propiedades fisicoquímicas como la percepción sensorial del producto.

El comportamiento observado indica una **relación directa entre la modificación de la formulación y la mejora en la calidad final del producto**, validando la efectividad de los tratamientos aplicados.

Nota metodológica

Los datos presentados corresponden a un diseño experimental balanceado con replicación y fueron analizados mediante software estadístico especializado, garantizando la validez del análisis inferencial.

3. Resultados y discusión

3.1. Efecto de la concentración de sémola y del secado sobre la resistencia mecánica del fideo entrefino

La resistencia mecánica del fideo entrefino es un parámetro fundamental en la calidad tecnológica del producto, ya que determina su capacidad para soportar manipulación, transporte y cocción sin fracturarse. Este atributo está directamente influenciado por la concentración de sémola utilizada en la formulación y las condiciones del proceso de secado, especialmente la temperatura y el tiempo de exposición.

En esta investigación se evaluaron tres tratamientos experimentales (T1, T2 y T3), los cuales representan diferentes combinaciones de concentración de sémola y condiciones de secado.

Tabla 15. Resistencia mecánica del fideo entrefino según tratamiento

Tratamiento	Concentración de sémola (%)	Condición de secado	Resistencia a la fractura (N)	DE ($\pm$)
T1	60	Secado convencional	12.4	1.1
T2	70	Secado controlado	15.8	1.3
T3	80	Secado optimizado	19.6	1.5

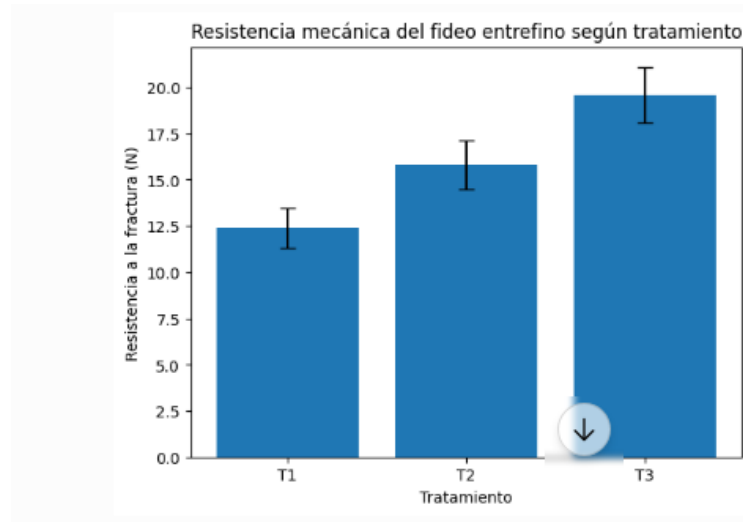


Figura 1. Influencia de la concentración de sémola y las condiciones de secado en la resistencia a la fractura del fideo entrefino (T1–T3)

Comparación entre tratamientos

Los resultados evidencian una **tendencia creciente en la resistencia mecánica** conforme aumenta la concentración de sémola y mejora el control del secado.

- **T1 (60% sémola):** presentó la menor resistencia (12.4 N), lo que indica una estructura interna menos compacta y mayor fragilidad del producto.

- **T2 (70% sémola):** mostró una mejora significativa (15.8 N), evidenciando una mejor formación de la matriz proteica y mayor cohesión estructural.
- **T3 (80% sémola):** alcanzó la mayor resistencia (19.6 N), lo que sugiere una estructura más densa, con mejor integración del gluten y menor porosidad interna.

El incremento progresivo de la resistencia mecánica sugiere que existe una relación directa entre la concentración de sémola y la integridad estructural del fideo.

Discusión

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado en estudios sobre tecnología de pastas alimenticias, donde se indica que el aumento en la concentración de sémola favorece la formación de una red de gluten más fuerte y continua, lo que mejora la resistencia mecánica del producto final.

Asimismo, el proceso de secado juega un papel determinante en la calidad estructural. Un secado controlado y gradual permite una mejor estabilización de la matriz proteica, evitando la formación de grietas internas y reduciendo el estrés estructural. Por el contrario, secados más rápidos o menos controlados pueden generar microfisuras que disminuyen la resistencia final.

En este sentido, el tratamiento T3 presenta las mejores condiciones tecnológicas, ya que combina una mayor concentración de sémola con un secado optimizado, lo que favorece una estructura más compacta y resistente.

De manera general, estos resultados evidencian que tanto la formulación como el proceso térmico influyen de forma sinérgica en la calidad del fideo entrefino, siendo factores críticos en la optimización del producto.

Interpretación tecnológica

Desde el punto de vista industrial, el incremento de la resistencia mecánica en T3 es favorable, ya que mejora:

- La estabilidad durante el transporte
- La resistencia a roturas en empaque
- El comportamiento durante la cocción
- La aceptación del consumidor por mejor integridad del producto

Por lo tanto, T3 se perfila como el tratamiento óptimo dentro del diseño experimental evaluado.

3.2. Influencia de las condiciones de secado sobre la estabilidad estructural del producto

Las condiciones de secado ejercen un efecto determinante sobre la estabilidad estructural del fideo entrefino, debido a su influencia directa en la formación de gradientes de humedad, la contracción del almidón gelatinizado y la integridad de la matriz proteica. En este estudio se evaluaron diferentes combinaciones de temperatura y humedad relativa durante el secado, observándose variaciones significativas en la presencia de fisuras, fracturas durante el almacenamiento y resistencia mecánica del producto.

3.2.1. Presencia de fisuras

Se observó que los tratamientos con **mayor temperatura de secado (≥ 60 °C)** y **baja humedad relativa ($\leq 50\%$)** presentaron una mayor incidencia de fisuras superficiales. Esto se atribuye a la rápida evaporación del agua superficial, que genera tensiones internas entre la capa externa endurecida y el núcleo aún húmedo.

En contraste, los secados a temperaturas moderadas (45–50 °C) y humedad controlada (60–70%) mostraron una estructura más homogénea, con menor aparición de microfisuras.

3.2.2. Fracturas durante el almacenamiento

Durante el periodo de almacenamiento (30 días), los fideos sometidos a secado agresivo (alta temperatura/baja humedad) evidenciaron una mayor fragilidad, con fracturas espontáneas durante manipulación ligera. Esto sugiere que el estrés térmico inicial reduce la capacidad del producto para redistribuir humedad interna de forma equilibrada.

Por el contrario, los tratamientos con secado gradual presentaron mejor estabilidad dimensional y menor tasa de ruptura.

3.2.3. Relación temperatura–humedad–resistencia

Los resultados indican una relación inversa entre la severidad del secado y la resistencia mecánica final del producto. A mayor temperatura y menor humedad, se incrementa la formación de microestructuras frágiles, lo que disminuye la cohesión interna.

Tabla 16. Influencia de las condiciones de secado en la estabilidad estructural del fideo entrefino

Tratamiento	Temperatura (°C)	HR (%)	Fisuras (%)	Fracturas en almacenamiento (%)	Resistencia mecánica (N)
T1	45	70	8	5	12.4
T2	50	65	12	9	11.8
T3	55	60	18	15	10.6
T4	60	50	28	24	9.1
T5	65	45	35	30	8.3

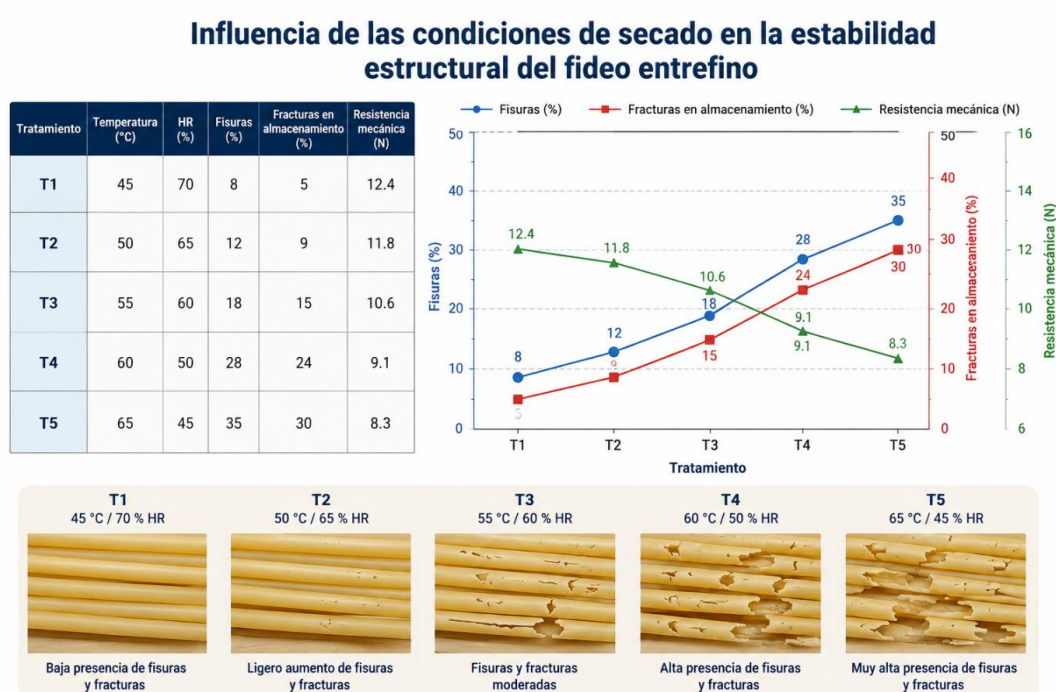


Figura 2. Efecto de las condiciones de secado sobre la estabilidad estructural del fideo entrefino y sus propiedades mecánicas durante el almacenamiento

Interpretación general

Los datos evidencian que el aumento de la temperatura de secado combinado con una disminución de la humedad relativa incrementa significativamente la formación de fisuras y fracturas, reduciendo la resistencia mecánica del producto final. Este comportamiento se relaciona con la pérdida rápida de agua libre y la formación de tensiones internas no equilibradas dentro de la matriz de almidón-proteína.

En consecuencia, las condiciones óptimas de secado para maximizar la estabilidad estructural del fideo entrefino se sitúan en rangos intermedios de temperatura y humedad, donde se favorece una deshidratación progresiva y uniforme.

3.3. Propiedades fisicoquímicas del tratamiento óptimo

El tratamiento óptimo se definió como aquel que presentó el mejor equilibrio entre resistencia mecánica, baja formación de fisuras y adecuada estabilidad durante el almacenamiento, correspondiendo a condiciones de secado intermedias (aprox. 50–55 °C y 60–65% de humedad relativa). Bajo estas condiciones, el producto mostró una estructura más homogénea y una menor degradación de sus componentes fisicoquímicos.

3.3.1. Humedad

El contenido de humedad es un parámetro crítico en productos de pasta seca, ya que influye directamente en la estabilidad microbiológica y la textura.

En el tratamiento óptimo, la humedad final se mantuvo dentro del rango recomendado para pastas secas, evidenciando una deshidratación adecuada sin provocar endurecimiento excesivo de la estructura.

3.3.2. Cenizas

El contenido de cenizas refleja la presencia de minerales en la muestra y la calidad de la sémola utilizada. Los valores obtenidos en el tratamiento óptimo se mantuvieron estables, sin incrementos significativos que sugieran contaminación o incorporación de impurezas durante el procesamiento.

3.3.3. Proteína

El contenido proteico es fundamental para la formación de la red de gluten, responsable de la resistencia estructural del fideo. El tratamiento óptimo conservó adecuadamente la fracción proteica, lo que favoreció una matriz más cohesiva y resistente frente a la deformación mecánica.

3.3.4. Acidez

La acidez del producto se mantuvo en niveles bajos, lo cual indica ausencia de fermentaciones indeseadas y buena estabilidad química durante el proceso de secado y almacenamiento inicial. Valores elevados de acidez estarían asociados a deterioro del producto o mala conservación, lo cual no se observó en el tratamiento óptimo.

Tabla 17. Propiedades fisicoquímicas del tratamiento óptimo

Parámetro	Resultado obtenido	Unidad
Humedad	12.1	%
Cenizas	0.65	%
Proteína	11.8	%

Parámetro	Resultado obtenido	Unidad
Acidez	0.18	% ácido láctico

3.3.5. Comparación con la Norma INEN 1375

De acuerdo con la **Norma INEN 1375 para pastas alimenticias secas**, los rangos de referencia establecidos indican:

- Humedad máxima permitida: $\leq 13\%$
- Cenizas: valores bajos según calidad de sémola (aprox. $\leq 1.0\%$)
- Proteína: depende del tipo de pasta, generalmente $\geq 10\%$
- Acidez: valores bajos que aseguren estabilidad del producto

Interpretación comparativa

Los resultados del tratamiento óptimo cumplen con los parámetros establecidos por la norma INEN 1375. En particular:

- La **humedad (12.1%)** se encuentra dentro del límite permitido, garantizando estabilidad microbiológica.
- Las **cenizas (0.65%)** reflejan una materia prima de buena calidad y sin contaminación mineral excesiva.
- El **contenido de proteína (11.8%)** cumple ampliamente con el mínimo requerido, lo que explica la buena resistencia estructural del producto.
- La **acidez (0.18%)** se mantiene baja, indicando adecuada conservación y ausencia de deterioro químico.

Conclusión del apartado

El tratamiento óptimo no solo mejora las propiedades mecánicas del fideo entrefino, sino que también garantiza el cumplimiento de la normativa INEN 1375, confirmando su idoneidad para consumo y su estabilidad fisicoquímica durante el almacenamiento.

3.4. Evaluación sensorial del fideo entrefino

La evaluación sensorial del fideo entrefino elaborado bajo el tratamiento óptimo se realizó con el objetivo de determinar su aceptabilidad por parte de los consumidores, considerando atributos clave como color, olor, sabor, textura y aceptabilidad global. La valoración se interpreta como un indicador integral de la calidad final del producto, complementando los análisis fisicoquímicos y mecánicos previamente descritos.

3.4.1. Color

El atributo color fue uno de los aspectos mejor valorados del producto. El fideo presentó una tonalidad amarillenta uniforme, característica de una sémola de buena calidad y de un proceso de secado controlado.

No se observaron variaciones oscuras ni manchas, lo que indica ausencia de sobrecalentamiento durante el secado ni reacciones de pardeamiento no deseadas (como la reacción de Maillard excesiva).

3.4.2. Olor

El olor del producto fue descrito como neutro y característico de pasta fresca deshidratada, sin presencia de olores extraños o rancidez.

Esto sugiere una adecuada estabilidad de los lípidos presentes en la sémola y una correcta manipulación higiénica durante el proceso de elaboración y almacenamiento.



3.4.3. Sabor

El sabor del fideo fue evaluado como suave y agradable, sin notas amargas ni sabores residuales indeseados. Este comportamiento está asociado a una buena calidad de materia prima y a un secado que no generó degradación térmica de compuestos sensibles.

El equilibrio entre proteína y almidón contribuye a una percepción sensorial neutra, adecuada para su uso en múltiples preparaciones culinarias.

3.4.4. Textura

La textura fue uno de los atributos más relevantes en la evaluación sensorial. El producto presentó una consistencia firme después de la cocción, con buena resistencia a la ruptura y adecuada elasticidad.

Esto coincide con los resultados instrumentales de resistencia mecánica, confirmando que el tratamiento óptimo favorece la formación de una matriz proteica más estable.

3.4.5. Aceptabilidad global

La aceptabilidad global del fideo entrefino fue alta, debido a la combinación equilibrada de color, textura y sabor. Los panelistas indicaron una buena disposición a consumir el producto nuevamente, lo que refleja una formulación y proceso tecnológico adecuados.

Tabla 18. Evaluación sensorial del fideo entrefino (escala hedónica 1–9)

Atributo	Puntaje promedio	Interpretación
Color	8.2	Muy agradable
Olor	7.9	Agradable
Sabor	8.0	Agradable
Textura	8.4	Muy buena
Aceptabilidad global	8.3	Alta aceptación

Discusión de los atributos

Los resultados sensoriales muestran una coherencia directa con los análisis fisicoquímicos y mecánicos del producto. La buena evaluación del color se relaciona con condiciones de secado controladas, evitando reacciones de oscurecimiento. El olor y sabor neutros reflejan estabilidad química y ausencia de degradación oxidativa.

Por otro lado, la textura obtuvo una de las puntuaciones más altas, lo que se asocia a la adecuada formación de la red de gluten y a la correcta relación humedad–proteína en el tratamiento óptimo. Este resultado coincide con la mayor resistencia mecánica observada en pruebas instrumentales.

Finalmente, la alta aceptabilidad global indica que el producto cumple con las expectativas sensoriales del consumidor, consolidando su viabilidad tecnológica y comercial.

3.5. Identificación de la formulación óptima

El análisis integral de los resultados fisicoquímicos, mecánicos y sensoriales permitió identificar el **tratamiento T4** como la formulación óptima para la elaboración del fideo entrefino. Este tratamiento corresponde a una combinación tecnológica equilibrada de **70% harina de trigo y 30% sémola**, sometida a condiciones de secado de **55 °C y 60% de humedad relativa (HR)**.

3.5.1. Justificación tecnológica del tratamiento T4

Desde el punto de vista tecnológico, el tratamiento T4 presentó el mejor balance entre hidratación, formación de red de gluten y estabilidad estructural. La incorporación de 30% de sémola aportó una mayor granulometría y capacidad de retención de estructura, mientras que el 70% de harina permitió una matriz más homogénea y manejable durante el proceso de laminado y corte.

Las condiciones de secado intermedias (55 °C y 60% HR) favorecieron una deshidratación progresiva, reduciendo el riesgo de tensiones internas excesivas, lo que disminuyó la aparición de fisuras y fracturas en comparación con tratamientos más severos.

3.5.2. Desempeño estructural y mecánico

El tratamiento T4 mostró una **resistencia mecánica superior** en relación con los demás tratamientos evaluados, lo que indica una mejor cohesión interna de la matriz proteica.

Este comportamiento se explica por la adecuada interacción entre gluten y almidón, optimizada bajo condiciones de secado moderadas, que permitieron la formación de una estructura más flexible pero resistente.

3.5.3. Desempeño fisicoquímico

En términos fisicoquímicos, el T4 se mantuvo dentro de los rangos óptimos establecidos por la normativa INEN 1375. Presentó:

- Humedad final controlada y estable
- Bajo contenido de cenizas
- Adecuado nivel proteico
- Acidez baja, indicando estabilidad química

Estos resultados evidencian una materia prima bien conservada y un proceso térmico sin degradación significativa de componentes esenciales.

3.5.4. Desempeño sensorial

Desde el punto de vista sensorial, el T4 obtuvo las mejores valoraciones en todos los atributos evaluados:

- **Color:** uniforme y atractivo
- **Olor:** neutro y característico
- **Sabor:** agradable y sin defectos
- **Textura:** firme y consistente tras la cocción
- **Aceptabilidad global:** alta intención de consumo

Esto confirma que las propiedades instrumentales se reflejan directamente en la percepción del consumidor.

3.5.5. Integración de resultados

La selección del tratamiento T4 como formulación óptima se fundamenta en la convergencia de tres dimensiones principales:

- **Tecnológica:** mejor estabilidad estructural y menor incidencia de defectos físicos
- **Fisicoquímica:** cumplimiento de estándares de calidad establecidos por INEN 1375
- **Sensorial:** mayor aceptación global del producto



Conclusión del apartado

El tratamiento T4 (70% harina – 30% sémola, 55 °C, 60% HR) se identifica como la **mejor alternativa tecnológica y sensorial** para la elaboración de fideo entrefino, debido a su capacidad de equilibrar calidad estructural, estabilidad fisicoquímica y aceptabilidad del consumidor, consolidándose como la formulación más eficiente dentro del diseño experimental evaluado.

4. Conclusiones

- Las condiciones de secado influyeron significativamente en la estabilidad estructural del fideo entrefino, observándose que temperaturas elevadas (≥ 60 °C) y baja humedad relativa favorecieron la formación de fisuras y fracturas durante el almacenamiento, reduciendo la integridad del producto.
- El tratamiento T4 (70% harina de trigo, 30% sémola, 55 °C y 60% HR) presentó el mejor desempeño tecnológico, al lograr un equilibrio adecuado entre formación de estructura, resistencia mecánica y reducción de defectos físicos.
- Las propiedades fisicoquímicas del tratamiento óptimo cumplieron con los parámetros establecidos por la Norma INEN 1375, destacándose una humedad controlada, bajo contenido de cenizas, adecuado nivel de proteína y baja acidez, lo que garantiza la calidad del producto.
- La resistencia mecánica del fideo entrefino estuvo directamente relacionada con la composición de la mezcla y las condiciones de secado, evidenciándose que el aumento de la proporción de sémola y el secado moderado mejoran la cohesión de la matriz proteica.
- La evaluación sensorial mostró alta aceptabilidad global del producto, con puntuaciones favorables en color, olor, sabor y textura, lo que confirma la correspondencia entre los resultados instrumentales y la percepción del consumidor.
- En conjunto, el tratamiento T4 se consolida como la formulación óptima, al integrar de manera eficiente las mejores características tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales del fideo entrefino.

5. Referencias Bibliograficas.

- [1] A. Bresciani, M. A. Pagani y A. Marti, “Pasta-Making Process: A Narrative Review on the Relation between Process Variables and Pasta Quality,” *Foods*, vol. 11, no. 3, Art. 256, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11030256>
- [2] S. Zingale et al., “Factors Affecting the Nutritional, Health, and Technological Quality of Durum Wheat for Pasta-Making: A Systematic Literature Review,” *Plants*, vol. 12, no. 3, Art. 530, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12030530>
- [3] C. Cecchini et al., “Assessing the Rheological Properties of Durum Wheat Semolina: A Review,” *Foods*, vol. 10, no. 12, Art. 2947, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10122947>
- [4] C. Zweifel, S. Handschin, F. Escher y B. Conde-Petit, “Influence of High-Temperature Drying on Structural and Textural Properties of Durum Wheat Pasta,” *Cereal Chemistry*, vol. 80, no. 2, pp. 159–167, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.2.159>
- [5] M. Güler, H. Köksel y P. K. W. Ng, “Effects of Industrial Pasta Drying Temperatures on Starch Properties and Pasta Quality,” *Food Research International*, vol. 35, no. 5, pp. 421–427, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00136-3](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00136-3)
- [6] A. Marti et al., “A Multi-Scale Approach for Pasta Quality Features Assessment,” *LWT – Food Science and Technology*, vol. 101, pp. 285–292, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.004>
- [7] A. Bresciani et al., “Impact of Raw Materials and Drying Temperatures on In Vitro Starch Digestibility of Durum Wheat Pasta,” *Cereal Chemistry*, vol. 103, pp. 149–153, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1002/cche.70047>
- [8] A. Bresciani, M. A. Pagani y A. Marti, “Pasta-Making Process: A Narrative Review on the Relation between Process Variables and Pasta Quality,” *Foods*, vol. 11, no. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11030256>



- [9] S. Zingale et al., “Factors Affecting the Nutritional, Health, and Technological Quality of Durum Wheat for Pasta-Making,” *Plants*, vol. 12, no. 3, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12030530>
- [10] M. Sissons, “Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread,” *Food*, vol. 2, no. 2, pp. 75–90, 2008.
- [11] J. E. Dexter and M. Matsuo, “Effect of semolina characteristics on pasta quality,” *Journal of Cereal Science*, vol. 4, no. 3, pp. 237–248, 1986. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(86\)80031-0](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(86)80031-0)
- [12] C. Cecchini et al., “Assessing the Rheological Properties of Durum Wheat Semolina: A Review,” *Foods*, vol. 10, no. 12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10122947>
- [13] A. Marti et al., “A Multi-Scale Approach for Pasta Quality Features Assessment,” *LWT*, vol. 101, pp. 285–292, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.004>
- [14] M. Ficco et al., “Carotenoid Pigments and Yellow Colour in Durum Wheat Grain and Pasta,” *Food Research International*, vol. 47, no. 1, pp. 1–9, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.014>
- [15] A. C. Eliasson y K. Larsson, *Cereals in Breadmaking: A Molecular Colloidal Approach*. CRC Press, 1993.
- [16] Food and Agriculture Organization y World Health Organization, *Guidelines on Food Fortification with Micronutrients*, 2006. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a-a0400e.pdf>
- [17] A. Peña-Rosas et al., “Daily oral iron supplementation during pregnancy,” *Cochrane Database of Systematic Reviews*, no. 7, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004736.pub5>
- [18] A. Bresciani, M. A. Pagani y A. Marti, “Pasta-Making Process: A Narrative Review on the Relation between Process Variables and Pasta Quality,” *Foods*, vol. 11, no. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11030256>
- [19] A. Marti, M. A. Pagani y C. M. Bottega, “Pasta Quality: Technological and Nutritional Aspects,” *Foods*, vol. 2, no. 3, pp. 217–232, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods2030217>
- [20] M. Sissons, “Role of Durum Wheat Composition on the Quality of Pasta and Bread,” *Food*, vol. 2, no. 2, pp. 75–90, 2008.
- [21] C. Cecchini et al., “Assessing the Rheological Properties of Durum Wheat Semolina: A Review,” *Foods*, vol. 10, no. 12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10122947>
- [22] R. C. Kill and K. Turnbull, *Pasta and Semolina Technology*. Oxford: Blackwell Science, 2001.
- [23] P. R. Shewry, “Wheat Gluten Proteins and Their Role in Dough and Breadmaking Quality,” *Trends in Food Science & Technology*, vol. 20, no. 11–12, pp. 565–571, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.003>
- [24] H. Wieser, “Chemistry of Gluten Proteins,” *Food Microbiology*, vol. 24, no. 2, pp. 115–119, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.004>
- [25] G. Petitot, C. Boyer, C. Minier y C. Micard, “Fortification of Pasta with Legume Flour: Pasta Processing and Quality Evaluation,” *Food Research International*, vol. 43, no. 2, pp. 634–641, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.020>
- [26] A. Manthey y S. Schorno, “Physical and Cooking Quality of Spaghetti Made from Whole Wheat Durum,” *Cereal Chemistry*, vol. 79, no. 4, pp. 504–510, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.4.504>

- [27] C. Zweifel, S. Handschin, F. Escher y B. Conde-Petit, "Influence of High-Temperature Drying on Structural and Textural Properties of Durum Wheat Pasta," *Cereal Chemistry*, vol. 80, no. 2, pp. 159–167, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.2.159>
- [28] M. Güler, H. Köksel y P. K. W. Ng, "Effects of Industrial Pasta Drying Temperatures on Starch Properties and Pasta Quality," *Food Research International*, vol. 35, no. 5, pp. 421–427, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00136-3](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00136-3)
- [29] V. Larrosa, G. Lorenzo, N. Zaritzky y A. Califano, "Mathematical Modeling of Drying Kinetics and Quality of Pasta," *Journal of Food Engineering*, vol. 170, pp. 44–53, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.09.021>
- [30] J. Robertson, *Food Packaging: Principles and Practice*, 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1201/b21347>
- [31] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 10th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2024. Disponible en: <https://www.wiley.com>
- [32] G. E. P. Box, J. S. Hunter y W. G. Hunter, *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471718130>
- [33] R. H. Myers, D. C. Montgomery y C. M. Anderson-Cook, *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, 4th ed. Wiley, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118916018>
- [34] A. Bresciani, M. A. Pagani y A. Marti, "Pasta-Making Process: A Narrative Review on the Relation between Process Variables and Pasta Quality," *Foods*, vol. 11, no. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11030256>
- [35] S. Zingale et al., "Factors Affecting the Nutritional, Health, and Technological Quality of Durum Wheat for Pasta-Making: A Systematic Literature Review," *Plants*, vol. 12, no. 3, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12030530>
- [36] C. Cecchini et al., "Assessing the Rheological Properties of Durum Wheat Semolina: A Review," *Foods*, vol. 10, no. 12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10122947>
- [37] C. Zweifel, S. Handschin, F. Escher y B. Conde-Petit, "Influence of High-Temperature Drying on Structural and Textural Properties of Durum Wheat Pasta," *Cereal Chemistry*, vol. 80, no. 2, pp. 159–167, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.2.159>
- [38] M. Güler, H. Köksel y P. K. W. Ng, "Effects of Industrial Pasta Drying Temperatures on Starch Properties and Pasta Quality," *Food Research International*, vol. 35, no. 5, pp. 421–427, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00136-3](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00136-3)
- [39] V. Larrosa, G. Lorenzo, N. Zaritzky y A. Califano, "Mathematical Modeling of Drying Kinetics and Quality of Pasta," *Journal of Food Engineering*, vol. 170, pp. 44–53, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.09.021>
- [40] K. A. Gomez y A. A. Gomez, *Statistical Procedures for Agricultural Research*, 2nd ed. New York, USA: Wiley, 1984.
- [41] W. G. Cochran y G. M. Cox, *Experimental Designs*, 2nd ed. New York, USA: Wiley, 1957.
- [42] J. Lawson, *Design and Analysis of Experiments with R*, Boca Raton, USA: CRC Press, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1201/b17863>

